

संरक्षात्मक कोटिंग्स समुद्री संक्षारण से संरक्षण



प्रौद्योगिकी विशेष डीआरडीओ द्वारा विकसित किए गए उत्पादों, प्रक्रमों एवं प्रौद्योगिकियों को शामिल करते हुए इस संगठन द्वारा प्रौद्योगिकीय विकास के क्षेत्र में प्राप्त की गई उपलब्धियों को पाठकों के समक्ष प्रस्तुत करता है।

जनवरी-फरवरी 2025
खंड 13 अंक 1

मुख्य संपादक: किरण चौहान

सह मुख्य संपादक: सुधांशु भूषण

संपादक: दीप्ति अरोरा

सहायक संपादक: धर्म वीर

अनुवादक: अनुराग कश्यप



वर्तमान अंक, *Technology Focus*, Vol 33, Issue 1, January-February 2025, का हिंदी अनुवाद है।

पाठकगण कृपया अपने सुझाव निम्नलिखित पते पर भेजें

संपादक, प्रौद्योगिकी विशेष

रक्षा वैज्ञानिक सूचना तथा प्रलेखन केंद्र (डेसीडॉक)

मेटकॉफ हाउस, दिल्ली-110054

टेलीफोन : 011-23902403, 23902472

फैक्स : 011-23819151, 011-23813465

ई-मेल : director.desidoc@gov.in; techfocus.desidoc@gov.in;

technologyfocus@desidoc.deldom

इंटरनेट : <http://www.drdo.gov.in/prodhyogic-vishesh>

स्थानीय संवाददाता

- आगरा :** श्री एस एम जैन, एडीआरडीई
- अहमदनगर :** कर्नल अतुल आपटे, श्री आर ए शेख, वीआरडीई
- अंबरनाथ :** डॉ गणेश एस ढोले, एनएमआरएल
- बेंगलूरु :** श्री सतपाल सिंह तोमर, एडीई
श्रीमती एम आर भुवनेश्वरी, कैब्स
श्रीमती ए जी जे फहीमा, केयर
श्री आर कमलाकन्नण, सेमीलेक
डॉ संचिता सिल एवं डॉ सुधीर एस काम्बले, डेबेल
डॉ वी सेंथिल, जीटीआरई
श्रीमती साईमा बशीर, एलआरडीई
डॉ सुशांत क्षत्रे, एमटीआरडीसी
- चंडीगढ़ :** डॉ पाल दिनेश कुमार, टीबीआरएल
डॉ अनुजा कुमारी, डीजीआरई
- चेन्नई :** श्री के अंबाज्ञगन, सीवीआरडीई
- देहरादून :** श्री डीपी त्रिपाठी, डील
डॉ एस के मिश्रा, आईआरडीई
- दिल्ली :** श्री हेमंत कुमार, सीफीस
डॉ दीप्ति प्रसाद, डिपास
श्री संतोष कुमार चौधरी, डीआईपीआर
श्री नवीन सोनी, इनमास
डॉ रुपेश कुमार चौबे, एसएसपीएल
- ग्वालियर :** डॉ ए के गोयल, डीआरडीई
- हल्दवानी :** डॉ अतुल ग्रोवर, डिबेर
डॉ रंजीत सिंह, डिबेर
- हैदराबाद :** श्री नरसिम्हाचारी, डीएलआरएल
श्री एस शशी नाथ, डीएमआरएल
श्री श्रीनिवास जुलुरु, डीआरडीएल
- जोधपुर :** श्री डी के त्रिपाठी और डॉ योजना जानू, डीएल
- कानपुर :** डॉ मोहित कटियार, डीएमएसआरडीई
- कोच्चि :** श्रीमति लता एम एम, एनपीओएल
- लेह :** डॉ शेरिंग स्टोब्डन, दिहार
- मैसूर :** डॉ एम पालमुरुगन, डीआईबीटी
- पुणे :** डॉ गणेश शंकर डोम्बे, एचईएमआरएल
श्री अजय कुमार पांडेय, एआरडीई
डॉ अनूप आनंद, आर एण्ड डीई (ई)
- तेजपुर :** डॉ एस एन दत्ता, डीआरएल

From the Desk of Special Editor



I am immensely proud to highlight the groundbreaking advancements in protective coatings technology developed by the scientists at the Naval Materials Research Laboratory (NMRL), Ambarnath. This pioneering research not only underscores our commitment to excellence but also represents a crucial step forward in ensuring the longevity and resilience of Naval assets and other Defence infrastructure.

The importance of protective coatings cannot be overstated. These innovations play a critical role in safeguarding various naval platforms, including ships and submarines, from the harsh marine environment, significantly enhancing operational life, reliability and performance. The research and development efforts at the NMRL have led to the creation of advanced coatings that are designed to withstand extreme conditions such as corrosion and biofouling. These coatings, developed using state-of-the-art materials and nanotechnology, are among the finest examples of indigenous solutions for the Indian Navy and the broader defence sector.

Our focus on protective coatings is not limited to enhancing the lifespan of Naval assets but also contributes to cost efficiency, reducing the need for frequent maintenance and ensuring readiness for operational tasks. These innovations are also aligned with our national objectives of self-reliance in defence technologies, as articulated under the 'Make in India' initiative. By leveraging home-grown expertise and cutting-edge research, we are reducing dependency on foreign technologies and fostering a culture of innovation within our Defence ecosystem.

The teams at NMRL have demonstrated exceptional dedication, creativity, and technical prowess in developing these coatings, which stand as a testament to our capability to lead in specialized fields of materials science. Their efforts are directly contributing to the modernization of India's Defence capabilities and ensuring the safety and effectiveness of our armed forces.

As we continue to push the boundaries of technology, it is crucial to recognize the collaborative spirit and passion for innovation that drives these successes. I extend my congratulations to the NMRL team and encourage them to continue their pioneering work, which is setting new standards for the Defence sector.

Together, we are forging a stronger, more resilient future for India's defence infrastructure, and I am confident that the advances made by NMRL in the fields of protective coatings will serve as a cornerstone for further innovations in the years to come.

R V Hara Prasad

Distinguished Scientist and DG (NS&M)

From the Desk of Guest Editor



Corrosion is regarded as a slow creeping enemy to all of us and it is affecting our day-to-day lives. Military assets like warships, submarines, weapons, platforms, arms, ammunition, off-shore installations, bridges, sensors, etc. are exposed to very harsh corrosive environment. Corrosion is a huge problem not only for civilian sector but also for the armed forces as the war equipment are deployed in very aggressive environments which causes significant stress on them. Corrosion leads to disintegration of almost 5 tons of steel every second worldwide and about 40 % of all produced steel is used to replace corroded steel.

The cost of corrosion is huge for our nation and we are spending @ 4.2% of GDP in combating corrosion. It's a big issue for the armed forces as we spend nearly 25 % of the budget allocated for maintenance on corrosion management alone. If we can address some part of it, it is going to provide big saving not only in the expenditure but it will also lead to longer life of military assets, increased availability, improved safety, and employment of lesser number of crew.

Military assets face complex operating environments which triggers all possible types of corrosion to include general corrosion (of metals in the corrosive media like seawater, chemicals, acids, gases), galvanic corrosion, bio-fouling driven corrosion, graphitisation of cast iron, stress corrosion, dezincification, fretting corrosion, pitting corrosion, intergranular corrosion, corrosion fatigue, biofouling and microbial influenced corrosion, etc.

Naval Materials Research Laboratory (NMRL) since its inception in 1953 has contributed extensively in the field of corrosion protection of assets of Indian Navy. NMRL has been providing solutions for corrosion protection needed by our Armed Forces and has successfully developed Coatings which includes speciality paints, complex concentrated alloy powders and nano crystalline amorphous powders, Surface treatments, Corrosion-resistant materials, Corrosion inhibitors, Sacrificial anodes, Electrochemical protection which includes Impressed Current Cathodic Protection (ICCP) and Active Shaft Grounding (ASG), etc. Today, Indian Navy's warships, submarines and Indian Coast Guard ships are protected by the anti-corrosion technologies provided by the NMRL.

This issue of Technology Focus highlights NMRL's contributions towards development of various corrosion protective technologies.

Prashant Rojatkar

Outstanding Scientist and Director, NMRL

संरक्षणात्मक कोटिंग्स

समुद्री संक्षारण से संरक्षण

नौसेना सामग्री अनुसंधान प्रयोगशाला (एनएमआरएल), अंबरनाथ, रक्षा अनुसंधान एवं विकास संगठन (डीआरडीओ) की सबसे पुरानी अनुसंधान एवं विकास प्रयोगशालाओं में से एक है, जो भारतीय नौसेना के लिए अत्याधुनिक सामग्री और ऊर्जा प्रणालियों के विकास के लिए समर्पित है। 1953 में मुंबई में डॉकयार्ड प्रयोगशाला के रूप में इसकी स्थापना हुई थी, जहां इसका मुख्य कार्य ईंधन और तेल के नमूनों का परीक्षण करना और भारतीय नौसेना को तकनीकी सहायता प्रदान करना था। धीरे-धीरे, प्रयोगशाला का ध्यान बेड़े की सहायता से हटकर आयात प्रतिस्थापन और अनुसंधान एवं विकास की ओर स्थानांतरित हुआ। इस बदलाव ने उच्च शक्ति वाले स्टील, पीजो-कम्पोजिट्स, विशेष कोटिंग्स, और पॉलिमर जैसी उन्नत सामग्रियों के विकास का मार्ग प्रशस्त किया। सामग्री अनुसंधान एवं विकास में विशेषज्ञता हासिल करने के साथ-साथ अनेक उत्पादों के सफल विकास ने प्रयोगशाला के कार्यक्षेत्र का विस्तार किया, जिसके परिणामस्वरूप 1995 में इसका नाम बदलकर नौसेना सामग्री अनुसंधान प्रयोगशाला रखा गया।

एनएमआरएल की मुख्य क्षमताओं में से एक नौसेना प्लेटफार्मों को संक्षारण और फौलिंग से बचाने के लिए कोटिंग प्रौद्योगिकियों का विकास है। समुद्री कोटिंग्स नौसैनिक जहाजों में उपयोग होने वाली सामग्रियों की रक्षा के लिए एक सुरक्षा कवच का काम करते हैं, जिससे

उनकी आयु बढ़ती है और वे बेहतर प्रदर्शन करते हैं। आयातित एडमार एंटी-कोरोसिव पेन्ट के स्वदेशीकरण से शुरू होकर, प्रयोगशाला लगभग सात दशकों से संक्षारण संरक्षण कोटिंग्स के विकास में लगी हुई है।

स्टील जहाज निर्माण में सबसे अधिक उपयोग की जाने वाली सामग्री है क्योंकि यह मजबूत, टूट-फूट रोधी और सस्ती है। स्टील एक जहाज के कुल वजन का लगभग 80% हिस्सा बनाती है। युद्धपोत और पनडुब्बियां समुद्री जल में तैनात रहते हैं, जो पृथ्वी पर पाए जाने वाले सबसे संक्षारक तरल पदार्थों में से एक है। समुद्री जल और लवणीय आर्द्र वायु की उपस्थिति युद्धपोतों और पनडुब्बियों के विभिन्न हिस्सों के संक्षारण के लिए अनुकूल वातावरण बनाती है।

संक्षारण सामग्री और उसके आस-पास के वातावरण के बीच प्रतिक्रिया के कारण सामग्री के क्षरण की एक प्रक्रिया है। समुद्री कोटिंग्स का प्राथमिक कार्य जहाजों को खारे समुद्री जल और कठोर समुद्री वातावरण के निरंतर संपर्क से प्रेरित संक्षारण से बचाना है। ये कोटिंग्स एक सुरक्षात्मक इंटरफेस बनाती हैं जो समुद्री जल और धातु सबस्ट्रेट के बीच सीधे संपर्क को रोकती हैं, प्रभावी रूप से संक्षारक एजेंटों के प्रवेश को कम करती हैं जिससे संक्षारण को न्यूनतम किया जाता है। जहाजों और पनडुब्बियों के विभिन्न क्षेत्रों को कई प्रकार के संक्षारण से सुरक्षा की आवश्यकता होती है। समुद्री जल के लगातार



संपर्क में रहने के कारण हल वह मुख्य केंद्र है, जहाँ सामान्य संक्षारण और पिंटिंग संक्षारण संरचना को हानि पहुँचा सकते हैं। सूक्ष्मजीवी जीव और बायोफाउलिंग अंतर्जलीय हल में संक्षारण की समस्या को और बढ़ा देते हैं। अधिरचना और डेक क्षेत्र आम तौर पर समुद्री जल, नमी, और लवण से भरी हवा के संपर्क में आते हैं जिससे जंग लग जाता है। गैल्वेनिक संक्षारण एक और खतरा है, खासकर वेल्डेड क्षेत्रों के लिए। बैलास्ट टैंक में संक्षारण का खतरा होता है क्योंकि वे समुद्री जल से भरे होते हैं। प्रोपेलर शाफ्ट सील क्षेत्रों में पिंटिंग संक्षारण प्रमुख है। बिल्ज क्षेत्र में अक्सर पानी और तेल के मिश्रण का संचय होता है, और जंग लगने का खतरा बहुत अधिक होता है। प्रोपेलर ब्लेड उन क्षेत्रों में पिंटिंग संक्षारण का सामना करते हैं जहाँ निर्माण चरण के दौरान मरम्मत का काम किया जाता है। बायोफाउलिंग, जलमग्न सतहों पर शैवाल और बार्नाकल जैसे समुद्री जीवों का संचय, ड्रैग को बढ़ाता है और जहाज की ईंधन दक्षता को कम करता है। पनडुब्बी के बैटरी कम्पार्टमेंट जैसे क्षेत्रों में अतिरिक्त चुनौतियाँ उत्पन्न होती हैं, जहाँ बैटरी एसिड के छलकने के कारण संक्षारण होता है।

ऊपर वर्णित संक्षारण के मुद्दों के अलावा, युद्धपोतों और पनडुब्बियों में कुछ विशेष कार्यात्मक आवश्यकताएँ हैं, जैसे नॉन-स्कड सतहें, रडार स्टेल्थ, अग्नि सुरक्षा, स्वच्छता, हीट इन्सुलेशन, अपक्षय प्रतिरोध, आदि। उपर्युक्त मुद्दों को संबोधित करने के लिए, एनएमआरएल ने विशेष कोटिंग्स की एक विस्तृत श्रृंखला विकसित की है। मुख्य रूप से युद्धपोतों और पनडुब्बियों के लिए एनएमआरएल द्वारा विकसित सुरक्षात्मक कोटिंग प्रौद्योगिकियों का वर्णन निम्नलिखित अनुभागों में किया गया है।

युद्धपोतों और पनडुब्बियों के लिए एनएमआरएल द्वारा विकसित सुरक्षात्मक कोटिंग्स

सुरक्षात्मक कोटिंग विकास प्रयासों को निम्नलिखित तरीके से में संगठित किया गया है:

- सेवाओं में शामिल किए गए पेंट/कोटिंग्स
- प्रयोगकर्ता परीक्षणों को सफलतापूर्वक पूरा किए गए पेंट्स/कोटिंग्स
- एनएमआरएल द्वारा विकसित अन्य पेंट/कोटिंग्स

विकसित सुरक्षात्मक कोटिंग्स

- अंतर्जलीय हल: संक्षारक-रोधी कोटिंग, फाउलिंग रिलीज कोटिंग, अंतर्जलीय अनुप्रयोग के लिए पेंट
- फ्लाइंग-डेक: नॉन-स्कड पेंट
- सुपरस्ट्रक्चर: उच्च प्रदर्शन बाहरी पेंट, रडार अवशोषित पेंट
- इंजन कक्ष: इंट्यूसेंट अग्निरोधी पेंट, सेल्फ-क्लीनिंग कोटिंग
- डेक क्षेत्र: सूखे और गीले क्षेत्रों के लिए ओवरले कोटिंग
- बिल्ज क्षेत्र: विलायक मुक्त एपॉक्सी कोटिंग, नैनो-सामग्री आधारित बिल्ज कोटिंग
- बैटरी पिट: एसिड प्रतिरोधी पेंट, रबर कोटिंग
- पनडुब्बी हल: ध्वनिक रबर टाइल्स
- फास्टनर: पीलेबल कोटिंग



सेवाओं में शामिल किए गए पेंट/कोटिंग्स

उपयोगकर्ता परीक्षणों के सफल संचालन के बाद, एनएमआरएल द्वारा विकसित निम्नलिखित पेंट/कोटिंग्स को भारतीय नौसेना द्वारा शामिल किया गया है। इन पेंट/कोटिंग्स के तकनीकी हस्तांतरण विभिन्न भारतीय पेंट निर्माण एजेंसियों को दिए गए हैं। ये उत्पाद बड़े

पैमाने पर उत्पादन के अधीन हैं और भारतीय नौसेना एवं भारतीय तटरक्षक बलों की कई संपत्तियों की सुरक्षा कर रहे हैं।

- जहाज के ऊपरी ढांचे के बाहरी हिस्से के लिए उच्च क्षमता वाला पेंट
- हैवी-ड्यूटी नॉन-स्कड कोटिंग
- अंतर्जलीय प्रयोग के लिए पेंट
- टैंक और बैटरी पिट के लिए घुलशील मुक्त जंग रोधी पेंट
- इंट्यूसेंट अग्नि-प्रतिरोधी पेंट
- नैनो-धातु आधारित बिल्ज कोटिंग
- हाइड्रोफोबिक सेल्फ-क्लीनिंग कोटिंग
- पनडुब्बी ध्वनिक रबर टाइलों की सुरक्षा के लिए पेंट

सफलतापूर्वक उपयोगकर्ता परीक्षण पूर्ण किए गए पेंट्स/कोटिंग्स

एनएमआरएल ने निम्नलिखित उत्पादों का विकास और उपयोगकर्ता परीक्षण सफलतापूर्वक पूरा कर लिया है। इन उत्पादों को शीघ्र ही सेवाओं में औपचारिक रूप से शामिल करने की उम्मीद है।

- डेक ओवरले कोटिंग
- अम्ल प्रतिरोधी रबर अस्तर
- बल्क धात्विक ग्लास कोटिंग्स

अन्य विकसित पेंट्स/कोटिंग्स

निम्नलिखित पेंट्स/कोटिंग्स का विकास एनएमआरएल द्वारा पूरा कर लिया गया है। इनके उपयोगकर्ता परीक्षण जल्द ही शुरू होने की उम्मीद है।

- उच्च ताप प्रतिरोधी नॉन-स्कड कोटिंग
- संक्षारण रोधी फाउल रिलीज पेंट
- शिप के आंतरिक डिब्बों के लिए एंटी-माइक्रोबियल कोटिंग
- ताप रोधी कोटिंग
- एंटी-आइसिंग कोटिंग
- हवाई जहाज के कैनोपी के लिए पारदर्शी कोटिंग
- पीलेबल कोटिंग
- ऊष्मीय स्प्रे करने योग्य कार्बनिक कोटिंग
- स्व-उपचारण स्मार्ट कोटिंग
- संक्षारण संवेदनशीलता कोटिंग
- क्षार प्रतिरोधी कोटिंग

सेवाओं में शामिल किए गए पेंट/कोटिंग्स

सेवाओं में शामिल किए गए पेंट/कोटिंग्स का विवरण नीचे दिया गया है:

शिप सुपरस्ट्रक्चर के बाहरी हिस्से के लिए उच्च क्षमता वाला पेंट

प्रयोगशाला ने सिलिकॉन-एल्काइड कोपोलीमर पर आधारित उच्च प्रदर्शन वाला बाहरी पेंट विकसित किया है, कोपोलीमर के संश्लेषण की प्रक्रिया स्थापित की गई है। यह पेंट सिंगल पैक सिस्टम है और सफेद, गहरे एडमिरल्टी ग्रे तथा हल्के ग्रे रंगों में उपलब्ध है। सिलिकॉन के साथ एल्काइड रेजिन के संशोधन से इसके यांत्रिक गुण और यूवी-विकिरण के प्रतिरोध में सुधार होता है। इस पेंट का बाहरी स्थायित्व के लिए व्यापक रूप से मूल्यांकन किया गया है। विकसित पेंट ने QUV-वेदरोमीटर में परीक्षण किए जाने पर 1000 घंटे के संपर्क के बाद 50% से अधिक चमक प्रतिधारण दिखाया है। पेंट की जीवन अवधि 5 वर्ष से अधिक है। उच्च प्रदर्शन वाले बाहरी पेंट का निर्माण सैंड मिल और उच्च गति मिक्सर का उपयोग करके किया जा सकता है।



नौसेना शिप को उच्च प्रदर्शन वाले बाहरी पेंट से रंगा गया है

उच्च क्षमता वाले बाहरी पेंट की तकनीक में शामिल प्रक्रियाएं हैं लंबे तेल एल्काइड रेजिन का निर्माण, सिलिकॉन के साथ एल्काइड रेजिन का संशोधन और विभिन्न रंगों में पेंट का निर्माण। इस पेंट के उपयोगकर्ता परीक्षण TRV 17 और INS गोमती पर सफलतापूर्वक पूरे किए गए हैं। टीओटी को उद्योगों में स्थानांतरित कर दिया गया है और पेंट वर्तमान में बड़े पैमाने पर उत्पादन में है।

हैवी ड्यूटी नॉन-स्किड पेंट

नौसेना के शिप के फ्लाइट/हेलो डेक पर विमान और कर्मियों की आवाजाही के दौरान फिसलन/स्किडिंग के प्रतिरोध के लिए हैवी ड्यूटी नॉन-स्किड कोटिंग्स के इस्तेमाल की आवश्यकता होती है। एनएमआरएल द्वारा विमान वाहक के साथ-साथ अन्य प्रकार के शिप के हेलो-डेक के लिए फ्लाइट डेक कोटिंग्स की आवश्यकताओं को पूरा करने के लिए एक एपॉक्सी-आधारित भारी शुल्क वाले नॉन-स्किड पेंट संरचना का विकास किया गया है। इस कोटिंग में उपयुक्त वर्णकों के साथ अलग-अलग कण आकार के मोटे समुच्चय होते हैं। यह कोटिंग वांछित बनावट (खुरदरापन) और घर्षण गुण प्रदान करती है।

कोटिंग्स की विशेषताओं में कम वाष्पशील कार्बनिक यौगिक (VOC), 250 °C तक तापीय प्रतिरोध, केबलों को रोकने के विरुद्ध प्रभाव प्रतिरोध, घिसाव और स्थायित्व शामिल हैं। इस पेंट के उपयोगकर्ता परीक्षण विभिन्न नौसेना प्लेटफार्मों (INS हंसा, INS ब्रह्मपुत्र, INS आदित्य, आदि) पर पूरे हो चुके हैं तथा नौसेना ने प्रयोग के लिए पेंट को स्वीकार कर लिया है। इस पेंट के लिए नौसेना द्वारा NCD जारी किया गया है। इस पेंट का T₀T विभिन्न पेंट उद्योगों को दिया गया है और वर्तमान में इसका उत्पादन किया जा रहा है।



हैवी ड्यूटी नॉन-स्किड पेंट

फ्लाइट डेक पर लगाया गया हैवी ड्यूटी नॉन-स्किड पेंट (प्रतिनिधि छवि)

अंतर्जलीय अनुप्रयोग के लिए पेंट

समुद्री वातावरण, समुद्री जल में लवण (क्लोराइड) और घुलित ऑक्सीजन की उपस्थिति के कारण धातु संरचनाओं के लिए अत्यधिक संक्षारक है। जलमग्न संरचनाओं जैसे कि प्लेटफॉर्म, जेटी, और जहाज के हल को संक्षारक-रोधी एंटी-फाउलिंग पेंट लगाकर संक्षारण से बचाया जाता है। हालांकि, कोटिंग्स अंतर्जलीय वस्तुओं के विरुद्ध घर्षण/प्रभाव के कारण यांत्रिक क्षति के खिलाफ कमजोर हैं। प्रभावित क्षेत्रों (क्षतिग्रस्त पेंट) की मरम्मत और पुनः पेंटिंग की आवश्यकता होती है जिसके लिए जहाज को ड्राई डॉकिंग की आवश्यकता होती है। जहाज की ड्राई डॉकिंग एक समय लेने वाली और श्रम-गहन गतिविधि है और वास्तव में समुद्र में कुछ अधिष्ठापनों को शुष्क स्थिति में नहीं लाया जा सकता है। प्रयोगशाला ने दो एपॉक्सी-आधारित जंग-रोधी पेंट और एंटी-फाउलिंग पेंट विकसित किए हैं जिन्हें संरचनाओं की जलमग्न सतहों पर सीधे ड्राई-डॉकिंग की आवश्यकता के बिना लगाया जा सकता है। क्षतिग्रस्त सतह पर पहले जंग-रोधी पेंट का कोट लगाया जाता है और उसके बाद एंटी-फाउलिंग पेंट लगाया जाता है। विकसित रचनाएँ विलायक मुक्त हैं और एक ही कोट में $225 \pm 25 \mu\text{m}$ की शुष्क फिल्म मोटाई प्रदान करती हैं।

इन पेंट्स को प्रयोगशाला द्वारा विशेष रूप से विकसित किए गए हैंड-हेल्ड एप्लीकेटर का उपयोग करके जलमग्न क्षेत्रों में लगाया जा सकता है। पेंट के दो से तीन कोट लगाए जाते हैं, प्रत्येक कोट के बीच 24 घंटे का अंतराल रखा जाता है। उपयोगकर्ता परीक्षणों (INS त्रिशूल, INS त्रिखंड, और INS आदित्य) के सफल समापन और भारतीय नौसेना द्वारा शामिल किए जाने के बाद, इन पेंट्स का T₀T विभिन्न पेंट निर्माण उद्योगों को दिया गया है।



पानी के भीतर पेंट करते हुए गोताखोर

हाथ से पकड़े जाने वाला पेंट एप्लीकेटर

टैंक और बैटरी पिट के लिए विलायक-मुक्त संक्षारक-रोधी पेंट

नौसेना के शिप/पनडुब्बियों में ईंधन, स्नेहक, समुद्री जल, ताजा पानी आदि जैसे तरल पदार्थों का भंडारण करने के लिए कई आंतरिक टैंक होते हैं। इसके अलावा, ऐसे डिब्बे भी होते हैं जिनका उपयोग लैंड एसिड बैटरी को संग्रहित करने के लिए किया जाता है। इनमें से कई संग्रहित तरल पदार्थ संक्षारक प्रकृति के होते हैं, विशेष रूप से बैटरी एसिड जो बैटरी भरने के दौरान अनिवार्य रूप से फैल जाता है और गंभीर संक्षारण का कारण बनता है। इसलिए भंडारण टैंक और बैटरी पिट कपार्टमेंट की धातुमय सतहों को संक्षारण से बचाने के लिए कोटिंग/पेंट की आवश्यकता होती है। संक्षारण-रोधी गुणों के अलावा, इस पेंट सिस्टम से संग्रहित तरल पदार्थों को दूषित न करने की भी उम्मीद की जाती है। इस मुद्दे को संबोधित करने के लिए, एनएमआरएल ने टैंक और बैटरी पिट की सुरक्षा के लिए विलायक-मुक्त संक्षारक पेंट रचनाएँ, EP-1 और EP-2 विकसित की हैं। ये पेंट रचनाएँ प्रकृति में थिक्सोट्रोपिक हैं और एक कोट में $250 \pm 50 \mu\text{m}$ की शुष्क फिल्म मोटाई प्रदान करती हैं। इनमें समुद्री जल, ताजे पानी, डीजल, विमानन ईंधन, बैटरी इलेक्ट्रोलाइट आदि जैसे कई तरल पदार्थों के प्रति अच्छा प्रतिरोध होता है।

ये विलायक-मुक्त संक्षारक-रोधी पेंट एपॉक्सी रेजिन, पिगमेंट, एक्सटेंडर के मिश्रण पर आधारित होते हैं और विशेष हार्डनर का उपयोग करके ठीक किए जाते हैं। ये पेंट दो घटक प्रणाली, बेस और हार्डनर के रूप में उपलब्ध हैं, जिन्हें उपयोग से पहले निर्दिष्ट अनुपात में मिलाया जाता है और इनकी पॉट लाइफ 2 घंटे होती है। पेंट में विलायक या किसी भी वाष्पशील पदार्थ की अनुपस्थिति इसे टैंक के अंदरूनी हिस्सों जैसे सीमित क्षेत्रों में उपयोग के दौरान आग के खतरों से सुरक्षित बनाती है। ये



पनडुब्बी के बैटरी पिट में सॉल्वेंट-फ्री एंटी-कोरोसिव पेंट लगाया गया

पेंट दो रंगों, सफेद और हल्के गुलाबी रंग में उपलब्ध हैं। विलायक-मुक्त संक्षारक-रोधी पेंट EP-2 का उपयोग एसिड अटैक से सतहों की संक्षारण सुरक्षा के लिए किया जाता है, जैसे कि बैटरी कम्पार्टमेंट में, जबकि EP-1 का उपयोग अन्य क्षेत्रों की सुरक्षा के लिए किया जाता है। इन पेंट को सेवाओं में शामिल किया गया है और भारतीय नौसेना द्वारा बड़े पैमाने पर उपयोग किया जा रहा है।

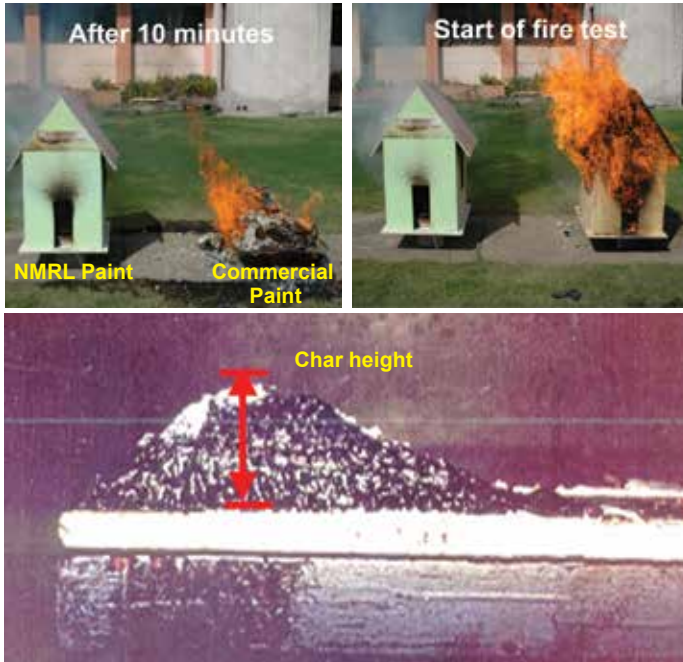
इन पेंट को प्राइमर के उपयोग के बिना मैनुअल रूप से साफ की गई सतहों पर लगाया जा सकता है। पेंट सिस्टम की सेवा अवधि पनडुब्बियों के बैटरी पिट में >5 वर्ष और इंजन कक्ष, विमानन ईंधन टैंक और जहाजों के अन्य आंतरिक डिब्बों में >6 वर्ष है। नौसेना की थोक आवश्यकताओं को पूरा करने के लिए इन पेंट्स की तकनीक को विभिन्न पेंट उद्योगों में स्थानांतरित किया गया है।

इंट्यूमेसेंट अग्निरोधी पेंट

रक्षा और नागरिक दोनों क्षेत्रों में इमारतों और प्रतिष्ठानों में आग लगने से संपत्ति और मानव जीवन को व्यापक नुकसान हो सकता है। अग्निरोधी उपचार के सबसे कुशल तरीकों में से एक है अग्निरोधी पेंट का उपयोग। आग लगने की स्थिति में अग्निरोधी पेंट फूल जाता है या झाग बनकर सेलुलर कार्बनयुक्त चारकोल बनाता है जो हीट इन्सुलेशन प्रदान करता है और ऑक्सीजन अवरोधक के रूप में कार्य करता है जो दहनशील सबस्ट्रेट सामग्रियों को प्रज्वलित होने से रोकता है। भारतीय नौसेना के लिए एनएमआरएल द्वारा विशेष रूप से अग्निरोधी पेंट विकसित किया गया है। इसके अलावा, इस कोटिंग का पारदर्शी संस्करण उन सबस्ट्रेट के लिए भी विकसित किया गया है जहां सतह की मूल बनावट को बनाए रखने की आवश्यकता होती है।

एनएमआरएल द्वारा विकसित अग्निरोधी पेंट जल-आधारित ऐक्रेलिक पॉलीमर इमल्शन पर आधारित हैं, इसे आंतरिक और बाहरी दोनों अनुप्रयोगों के लिए डिजाइन किया गया है। इंट्यूमेसेंट के उत्पादन के लिए विशेष योजकों का उपयोग किया गया है। टाइटेनियम डाइऑक्साइड को वर्णक के रूप में शामिल किया गया है। पेंट को $750 \mu\text{m}$ की ड्राई फिल्म मोटाई प्रदान करने के लिए तीन कोट में लगाया जाता है। आग के संपर्क में आने पर कोटिंग अपनी मूल मोटाई से 70-80 गुना बढ़ जाती है। प्रयोगशाला में संश्लेषित फाइटिक एसिड संशोधित राल का उपयोग करके पारदर्शी कोटिंग रचनाएँ विकसित की गई हैं। इन कोटिंग्स की श्यानता को पानी के साथ तनुकरण करके समायोजित किया जा सकता है।

इन पेंट मिश्रणों का प्रयोगशाला में व्यापक मूल्यांकन किया गया है और विभिन्न सबस्ट्रेट्स जैसे प्लाईवुड, एल्युमिनियम, स्टील, इलेक्ट्रिकल केबल और फॉल्स सीलिंग सामग्री पर अत्यंत अच्छे अग्नि सुरक्षा गुण प्रदर्शित किए हैं। पेंट ने एल्युमिनियम सबस्ट्रेट पर अच्छा ऊष्मा इन्सुलेशन भी दिखाया है। आग लगने की स्थिति में जहाज के सुपरस्ट्रक्चर की यांत्रिक अखंडता को बनाए रखने में इंट्यूसेंट अग्निरोधी पेंट के ऊष्मा इन्सुलेशन गुण बेहद उपयोगी होते हैं। अग्निरोधी पेंट को सीधे गैर-धातु सबस्ट्रेट पर लगाया जा सकता है। धातु सबस्ट्रेट पर, जंग संरक्षण के लिए उपयुक्त प्राइमर का उपयोग आवश्यक है। बाहरी सतहों पर अग्निरोधी पेंट को उपयुक्त बाहरी पेंट से ओवरकोट किया जा सकता है। लोनावाला के INS शिवाजी में परमाणु, जैविक, और रासायनिक रक्षा (NBCD) सुविधा में इंट्यूसेंट अग्निरोधी पेंट के उपयोगकर्ता परीक्षण सफलतापूर्वक पूरे हो चुके हैं और इसकी प्रभावशीलता सिद्ध हुई है। इस पेंट को भारतीय नौसेना द्वारा स्वीकार और शामिल कर लिया गया है। कई पेंट निर्माताओं को ToT दिया गया है।



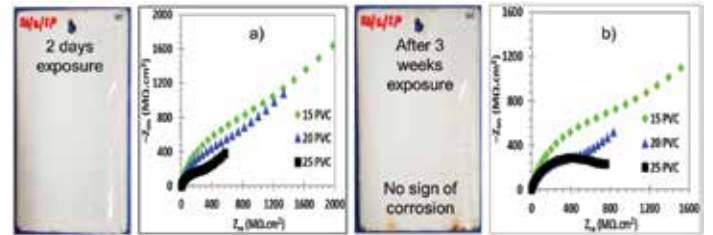
पेंट के अग्निरोधी गुण का प्रदर्शन

नैनोधातु-आधारित बिल्ज कोटिंग

बिल्ज कम्पार्टमेंट जहाज के मशीनरी कम्पार्टमेंट का सबसे निचला क्षेत्र होता है। ये आम तौर पर सीमित स्थान होते हैं, जो समुद्री जल, तेल/ग्रीस, विभिन्न मशीनरी और उपकरणों से निकलने वाले अन्य पदार्थों

से दूषित और भरे रहते हैं। इनके अलावा, बिल्ज में वातावरण हमेशा अत्यधिक आर्द्र रहता है। ये सभी कारक गंभीर संक्षारण का कारण बनते हैं। चूंकि बिल्ज क्षेत्र सीमित होते हैं, इसलिए उनके पास अपघर्षक ब्लास्टिंग या पावर टूल क्लीनिंग का उपयोग करके सतह तैयार करने के लिए बहुत सीमित या कोई पहुंच नहीं होती है, जो किसी भी सुरक्षात्मक कोटिंग के अनुप्रयोग से पहले आवश्यक है। इसके अलावा, पारंपरिक पेंट आम तौर पर विलायक आधारित होते हैं, इसलिए बिल्ज क्षेत्रों में खराब वेंटिलेशन के कारण आकस्मिक आग लगने का खतरा हमेशा बना रहता है। बेहतर जंग संरक्षण के लिए बिल्ज क्षेत्रों में विभिन्न तरल पदार्थों के लिए अच्छे आसंजन और प्रतिरोध के साथ भारतीय नौसेना को एक बेहतर सुरक्षात्मक पेंट प्रणाली की आवश्यकता थी।

इन आवश्यकताओं को ध्यान में रखते हुए, एनएमआरएल ने एक नैनो-धातु आधारित दो पैक, उच्च ठोस पेंट प्रणाली विकसित की है जिसमें एपॉक्सी राल, प्रतिक्रियाशील मंदक, रंगद्रव्य, विस्तारक, नैनोफिलर, और अन्य योजक शामिल हैं। इसे नाममात्र सतह की सफाई के साथ सीधे सबस्ट्रेट पर पेंट ब्रश या रोलर द्वारा लगाया जा सकता है और इसके लिए अलग से प्राइमर की आवश्यकता नहीं होती है। पेंट की कुछ महत्वपूर्ण विशेषताएं हैं वजन के हिसाब से कम वाष्पशील सामग्री <5%, पॉट लाइफ 2 घंटे और सूखने का समय 6–8 घंटे। विकसित पेंट ने बेहतरीन संक्षारण प्रतिरोध दिखाया है।

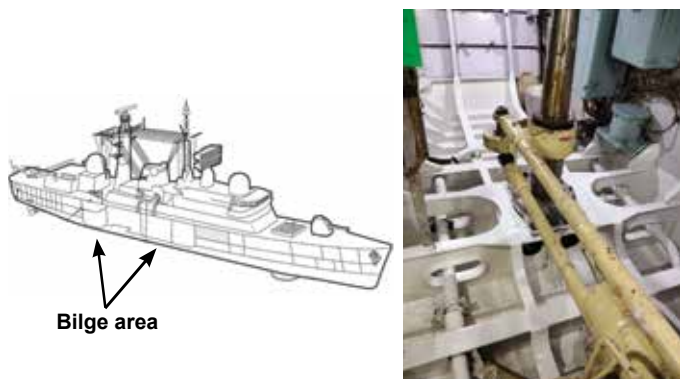


a) 2 दिन और b) 3 सप्ताह तक नमी में रहने के बाद नाइक्विस्ट प्लॉट

कोटिंग्स (पिगमेंट आयतन संकेद्रन, PVC: 15, 20, और 25) के लिए नाइक्विस्ट प्लॉट्स इंगित करते हैं कि वे जंग संरक्षण के लिए आवश्यक $>1 \text{ M}\Omega\text{-cm}^2$ के अपेक्षित ध्रुवीकरण प्रतिरोध का प्रदर्शन करते हैं। बीस PVC पेंट संरचनाओं का चयन किया गया क्योंकि इसने बेहतर यांत्रिक गुण दिखाए। पेंट की कवरींग क्षमता 225–250 μm की ड्राई फिल्म मोटाई के लिए 3.5 वर्ग मीटर प्रति लीटर है। इस पेंट के दो कोट 16 से 24 घंटे के अंतराल पर लगाने की सलाह दी जाती है।

विकसित पेंट सिस्टम की सेवा अवधि 5 वर्ष से अधिक है (जब इसे मैनुअल रूप से साफ की गई सतहों पर लगाया जाता है)। उच्च ठोस संरचना और कम VOC होने के कारण, पेंट में अनुप्रयोग के दौरान आग लगने का खतरा बहुत कम होता है। INS अभय और INS विपुल पर संतोषजनक उपयोगकर्ता परीक्षण के बाद, नैनो-धातु आधारित बिल्ज कोटिंग को सेवाओं में शामिल किया गया।

इस पेंट तकनीक को थोक उत्पादन के लिए पेंट उद्योग में स्थानांतरित कर दिया गया है। नौसेना द्वारा विभिन्न जहाजों के बिल्ज डिब्बों को संक्षारण से बचाने के लिए इसका नियमित रूप से उपयोग किया जा रहा है।



Bilge area

नैनो-धातु आधारित कोटिंग से लेपित जहाज का बिल्ज क्षेत्र

हाइड्रोफोबिक सेल्फ-क्लीनिंग कोटिंग

हाइड्रोफोबिक सेल्फ-क्लीनिंग कोटिंग एक कार्यात्मक सामग्री है जो लेपित सतह को गंदगी से मुक्त रखती है और इसकी वास्तविकता को बनाए रखती है। इस तरह की कोटिंग्स का उपयोग नौसेना के जहाज के रसोई, भंडारण कक्ष, और चिकित्सा सुविधाओं में स्वच्छता की स्थिति बनाए रखने में किया जा सकता है। प्रयोगशाला ने एक नए क्रॉसलिंकर के साथ कम सतह वाले ऊर्जा सिलोक्सेन-आधारित पॉलिमर का उपयोग करके यह सेल्फ-क्लीनिंग कोटिंग विकसित की है। यह कम सतह ऊर्जा सिलिकॉन-आधारित कोटिंग धूल, गंदगी, तेल, ग्रीस आदि को अपने ऊपर चिपकने नहीं देती है। इन कोटिंग्स को साफ करना बहुत आसान है। विकसित कोटिंग ने सबस्ट्रेट के साथ अच्छा आसंजन, खरोंच प्रतिरोध, और उत्कृष्ट सेल्फ-क्लीनिंग गुण दिखाए हैं।

हाइड्रोफोबिक सेल्फ-क्लीनिंग कोटिंग के उपयोगकर्ता परीक्षण यार्ड क्राफ्ट पुष्कर और INS विक्रमादित्य पर पूरे हो चुके हैं। सफल फील्ड ट्रायल के बाद, इस कोटिंग को भारतीय नौसेना द्वारा शामिल किया गया है। इस पेंट का ToI तीन पेंट निर्माण उद्योगों को दिया गया है।



गंदगी कोटिंग से नहीं चिपकती

गैर हाइड्रोफोबिक कोटिंग (सतह पर नीली स्याही के धब्बे)

सेल्फ-क्लीनिंग कोटिंग (सतह पर नीली स्याही बिना चिपके बह रही है)

सेल्फ-क्लीनिंग कोटिंग पर जल बूँदों का समूह

कोटिंग की स्व-सफाई क्षमता का प्रदर्शन



स्व-सफाई कोटिंग से लेपित जहाज का इंजन रूम हैच क्षेत्र

पनडुब्बी ध्वनिक रबर टाइलों की सुरक्षा के लिए पेंट

पनडुब्बियों की ध्वनिक रबर टाइलों की सुरक्षा के लिए प्रयोगशाला द्वारा एक विशेष पेंट विकसित किया गया है। यह रबर सबस्ट्रेट पर सीधा लगाने के लिए एक सिंगल कोट सिस्टम है। कोटिंग एक सिंगल कोट में 40 ± 15 μm की शुष्क फिल्म मोटाई प्रदान करती है।

इस पेंट के आवश्यक तत्व इलास्टोमेरिक पॉलीमर (स्टाइरीन एथिलीन ब्यूटिलीन टेरपोलिमर, SEBS), पिगमेंट, सॉल्वेंट्स, और एडिटिव्स हैं। पेंट निर्माण में ये विशेष योजक बेहतर आसंजन, थिक्सोट्रोपिक प्रकृति, अच्छी आद्रता, विक्षेपण, और डिफोमिंग गुण प्रदान करते हैं। पेंट को ब्रश/रोलर्स का उपयोग करके लगाया जा सकता है और यह 2 घंटे में सूख जाता है, जिससे रबर टाइलों को समुद्री जल के साथ-साथ पर्यावरणीय मौसम से बचाने के लिए एक कठोर और सख्त अवरोधक कोटिंग का निर्माण होता है। इस पेंट को काले और सफेद रंगों में तैयार किया गया है। पेंट की आसंजन शक्ति 1 MPa (रबर की सतह पर) है। इसमें उत्कृष्ट लचीलापन, प्रभाव शक्ति के साथ-साथ समुद्री जल और खराब मौसम के प्रति प्रतिरोध भी है।

काले रंग का पेंट पनडुब्बी के जलचिन्ह/स्तर के ऊपर लगाया जाता है, जबकि सफेद रंग का उपयोग अंकन उद्देश्यों के लिए किया जाता है। इस पेंट का उपयोगकर्ता परीक्षण INS शिंधुकेशरी और INS सिंधुविजय पर किया जा चुका है। सफल उपयोगकर्ता परीक्षण के बाद, इस पेंट को भारतीय नौसेना में शामिल कर लिया गया है। भारतीय नौसेना के लिए इस पेंट का प्रौद्योगिकी हस्तांतरण पेंट निर्माण उद्योग को कर दिया गया है।



पनडुब्बी पर काले और सफेद सुरक्षात्मक पेंट के क्षेत्र परीक्षण

सफलतापूर्वक उपयोगकर्ता परीक्षण पूरे किए गए पेंट/कोटिंग्स

नीचे दिए गए विभिन्न उत्पादों ने सफलतापूर्वक उपयोगकर्ता परीक्षण पूरा कर लिया है। इन उत्पादों को जल्द ही सेवाओं में शामिल किए जाने की उम्मीद है।

डेक ओवरले कोटिंग

जहाज के डेक क्षेत्र की धातु, कंक्रीट, या लकड़ी की सतह पर लोगों, सामग्रियों, और वाहनों की बहुत अधिक आवाजाही होती है। इसके परिणामस्वरूप क्षरण और संक्षारण के कारण सामग्री का नुकसान होता है, जिससे असमान मोटाई और असमतलता उत्पन्न होती है। टुट-फूट और क्षरण को कम करने के लिए एक उपयुक्त कोटिंग का विकास आवश्यक था। फर्श की सतह पर उपयोग की जाने वाली डेक ओवरले कोटिंग में अच्छी कठोरता, घर्षण, और संक्षारण प्रतिरोध के साथ-साथ रासायनिक रिसाव और सफाई डिटर्जेंट के हानिकारक प्रभावों के प्रतिरोध की उम्मीद है। इसके अतिरिक्त, फर्श की सौंदर्यता बनाए रखना भी आवश्यक है।

इन गुणों को पूरा करने के लिए, एनएमआरएल ने एक पेंट मिश्रण विकसित किया है, जो फ़ैटी एसिड और व्यावसायिक रूप से उपलब्ध एपॉक्सी राल पर आधारित इन-हाउस संश्लेषित हाइपरब्रांच्ड राल का उपयोग करता है। राल को विभिन्न सांद्रता पर विभिन्न वर्णकों का उपयोग करके रंगा गया है। विकसित पेंट में अच्छी आसंजन शक्ति, उच्च घर्षण, और खरोच प्रतिरोध है।

इसके अलावा, इसमें नौसेना के मानकों के अनुसार

ऑक्सीजन सूचकांक, धुम्र घनत्व, विषाक्तता सूचकांक, विद्युत प्रतिरोध, और तापीय चालकता की सुरक्षित सीमाएँ हैं। कोटिंग को विभिन्न सतह अनुप्रयोगों के लिए उपयुक्त उच्च चमक प्रतिधारण के साथ चार रंगों में विकसित किया गया है। इस कोटिंग के परीक्षण INS कोरा, INS ब्रह्मपुत्र, और INS वसुधा पर किए गए हैं। कोटिंग ने आशाजनक परिणाम दिखाए हैं।



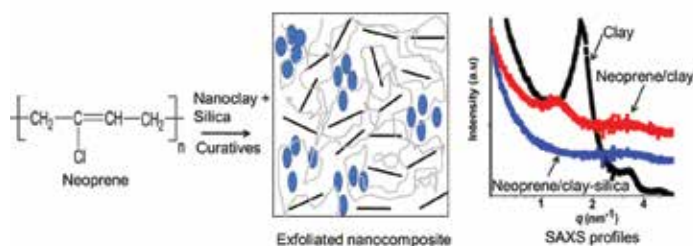
जहाज के डेक क्षेत्र पर डेक ओवरले कोटिंग लगाई गई

एनएमआरएल द्वारा विकसित डेक ओवरले कोटिंग की विशेषताएँ		
विशेषताएँ	भारतीय नौसेना की आवश्यकता (NCD 1471)	एनएमआरएल द्वारा विकसित कोटिंग
घनत्व (g/cc)	< 1.70	1.5
नमी अवशोषण (%)	< 0.5	< 0.2
आसंजन शक्ति, एमपीए MPa	> 1.75	> 3
लचीलापन (½ इंच मैड्रेल)	टूटना या अलग नहीं होना चाहिए	टूटता या अलग नहीं होता है
आयतन प्रतिरोधकता Ohm.cm	> 100 × 10 ⁶	2.45 × 10 ¹²
धुम्र घनत्व, %	-	65.8
लिमिटिंग ऑक्सीजन सूचकांक	-	25
विषाक्तता सूचकांक	-	0.7
नमक स्प्रे परीक्षण के प्रति प्रतिरोध, 500 घंटे	संक्षारण या क्षरण का कोई संकेत नहीं	संक्षारण या क्षरण का कोई संकेत नहीं
अग्नि प्रतिरोध परीक्षण	अग्नि स्रोत के हटाने के बाद स्वतः-बुझना	अग्नि स्रोत के हटाने के बाद स्वतः-बुझना

एसिड प्रतिरोधी स्वर लाइनिंग

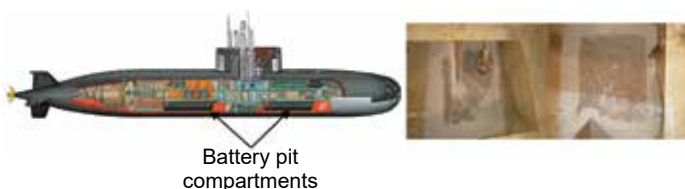
डीजल इलेक्ट्रिक पनडुब्बियों को बैटरी पिट कम्पार्टमेंट में रखी गई बैटरियों की श्रृंखला द्वारा संचालित किया जाता है। इन बैटरियों में एक अम्लीय इलेक्ट्रोलाइट

(बैटरी एसिड) भरा होता है। भरने की प्रक्रिया के दौरान यह इलेक्ट्रोलाइट अनिवार्य रूप से फैल जाता है। बैटरियों से होने वाला यह रिसाव पनडुब्बी के स्टील हल में गंभीर क्षरण का कारण बनता है। इसे बचाने के लिए, एनएमआरएल ने एक नैनो कम्पोजिट-आधारित रबर (नियोप्रीन) लाइनिंग विकसित की है जिसमें पॉलिमर मैट्रिक्स में प्लेटलेट जैसी संरचना वाले विशेष नैनोक्ले को शामिल किया गया है। विशेष नैनोक्ले को शामिल करने से पॉलिमर मैट्रिक्स के यांत्रिक गुणों और एसिड प्रतिरोध विशेषताओं में सुधार हुआ है।



SAXS प्रोफाइल के साथ एक्सफोलीएटेड नियोप्रीन क्ले नैनोकंपोजिट

बैटरी एसिड संक्षारण से सुरक्षा प्रदान करने के लिए बैटरी पिट कम्पार्टमेंट की निचली सतह पर एसिड-प्रतिरोधी रबर लाइनिंग सामग्री की चादरें लगाई जाती हैं। रबर लाइनिंग ने 24 महीने से अधिक की विस्तारित अवधि के लिए उत्कृष्ट आसंजन शक्ति और एसिड प्रतिरोध विशेषताओं को दिखाया है। इसके अलावा, समग्र संक्षारण प्रतिरोध को बढ़ाने के लिए पहले से लेपित सतहों पर लाइनिंग लगाई जा सकती है। INS सिंधु शशरा, INS सिंधु विजय, SPV और INS साल्की पर सफल दीर्घकालिक उपयोगकर्ता परीक्षणों के बाद, एसिड-प्रतिरोधी रबर लाइनिंग को भारतीय नौसेना द्वारा प्रेरण के लिए स्वीकार कर लिया गया है। NCD जल्द ही जारी होने की उम्मीद है। विकसित रबर अस्तर का सिविल अनुप्रयोगों में भी उपयोग होने लगा है, क्योंकि इसका उपयोग रासायनिक टैंकों, प्रतिक्रिया वाहिकाओं, पाइपिंग, और अन्य प्रतिष्ठानों को कई खनिज एसिड, जैसे कि विभिन्न रासायनिक उद्योगों में सल्फ्यूरिक एसिड आदि के संक्षारक प्रभावों से बचाने के लिए किया जा सकता है। एसिड प्रतिरोधी रबर अस्तर प्रौद्योगिकी को दो उद्योगों में स्थानांतरित कर दिया गया है।



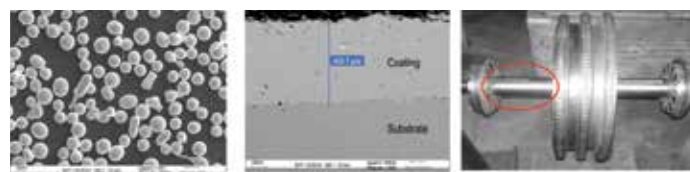
पनडुब्बियों के बैटरी पिट में रबर लाइनिंग लगाई गई

विस्तृत धात्विक ग्लास कोटिंग्स

विस्तृत धात्विक काँच, पदार्थों का एक उभरते हुआ क्षेत्र है जिनमें कई वांछनीय और अद्वितीय गुण होते हैं, जैसे कि उच्च शक्ति, अच्छी कठोरता, उत्कृष्ट घिसाव प्रतिरोध, और उच्च संक्षारण प्रतिरोध। पिघलाने और मेल्ट स्पिनिंग प्रक्रिया का उपयोग करके प्रयोगशाला में लौह आधारित धात्विक काँच की एक श्रृंखला विकसित की गई है। इसके अलावा, पिघलाने और परमाणुकरण तकनीक का उपयोग करके उद्योग की सहायता से इन्हें बड़े बैच आकार में उत्पादित किया गया है।

विकसित Fe-आधारित बल्क मेटैलिक ग्लास (BMG) कोटिंग्स को HVOF तकनीक का उपयोग करके लगाया गया है। इन कोटिंग्स में 750 से 900 VHN तक की कठोरता, गढ़े हुए सुपर डुप्लेक्स स्टेनलेस स्टील के बराबर उच्च क्षरण-संक्षारण प्रतिरोध है। इन कोटिंग्स में 60 MPa से अधिक की उच्च आसंजन शक्ति, 2 प्रतिशत से कम की छिद्रता, पीसने के बाद 0-3 μm का सतह परिष्करण होता है। इन कोटिंग्स का उपयोग हार्ड क्रोम प्लेटिंग के प्रतिस्थापन के रूप में किया जा सकता है।

इस कोटिंग के उपयोगकर्ता परीक्षण नौसेना के जहाजों (INS ब्रह्मपुत्र और INS ब्यास) के स्टीम टर्बाइन रोटर्स पर किए गए और इसने उत्कृष्ट क्षरण-संक्षारण प्रतिरोध गुण के साथ संतोषजनक प्रदर्शन दिखाया। इस कोटिंग को भारतीय नौसेना द्वारा प्रयोग के लिए स्वीकार कर लिया गया है और इसकी NCD जल्द ही जारी होने की उम्मीद है।



BMG पाउडर आकृति विज्ञान

HVOF तकनीक द्वारा लेपित BMG

कोटेड रोटर शाफ्ट

विकसित किए गए अन्य पेंट/कोटिंग्स

नौसेना, एनएमआरएल को विभिन्न अनुप्रयोगों के लिए सुरक्षात्मक पेंट/कोटिंग विकास का काम सौंपती रही है। इन आवश्यकताओं को ध्यान में रखते हुए, एनएमआरएल ने विभिन्न पेंट/कोटिंग विकसित करने के लिए समर्पित प्रयास किए हैं। इन विकास प्रयासों का विवरण नीचे दिया गया है:

उच्च तापमान प्रतिरोधी नॉन-स्कड कोटिंग

मौजूदा (मार्क-1) इन-सर्विस इपॉक्सी-आधारित हेवी ड्यूटी नॉन-स्कड पेंट की सर्विस-तापमान सीमा (300°C तक), स्थायित्व और समग्र प्रदर्शन को बेहतर बनाने के लिए, प्रयोगशाला द्वारा दो-घटक सिलोक्सेन इपॉक्सी हाइब्रिड नॉन-स्कड कोटिंग (मार्क-2) विकसित की गई है। इस कोटिंग में सिलिकॉन-ऑक्सीजन (Si-O-C) बॉन्ड होते हैं, जो सामान्य इपॉक्सी कोटिंग्स में कार्बन-कार्बन (C-C) बॉन्ड की तुलना में अधिक बॉन्ड शक्ति प्रदान करते हैं, जिससे यूवी विकिरण (सूर्य के प्रकाश से) के खिलाफ अधिक बाहरी स्थायित्व मिलता है। इसके अलावा, सिलोक्सेन-इपॉक्सी हाइब्रिड नॉन-स्कड कोटिंग में VOCs की मात्रा कम होती है, यह हाइड्रोकार्बन, डिटर्जेंट को दूर करती है और अपने हाइड्रोफोबिक प्रकृति के कारण लगाने के बाद ब्लश या ब्लूम नहीं करता है। Si-O-C बॉन्ड के कारण, इसमें 300°C तक का तापीय प्रतिरोध होता है और इसमें अरेस्टिंग केबल्स, घिसाव, और टिकाऊपन के विरुद्ध उत्कृष्ट प्रभाव प्रतिरोध होता है। कोटिंग का पहला उपयोगकर्ता परीक्षण SBTF, गोवा में आयोजित किया गया।

SBTF परीक्षणों से प्राप्त फीडबैक के आधार पर कोटिंग फॉर्मूलेशन को संशोधित किया गया है। कोटिंग के उपयोगकर्ता परीक्षणों की दूसरी श्रृंखला भारतीय नौसेना द्वारा INS कोलकाता के वेदर डेक पर की जाएगी और इसके जल्द ही शुरू होने की उम्मीद है।



SBTF, INS हंसा गोवा में कोटिंग के उपयोगकर्ता परीक्षण

संक्षारक-रोधी फाउल रिलीज पेंट

प्रयोगशाला ने सिलोक्सेन-एपॉक्सी पिगमेंटेड फाउलिंग-रिलीज कोटिंग संरचना विकसित की है जो एक ही कोट में संक्षारक और फाउलिंग रिलीज दोनों गुण प्रदान करती है। यह कोटिंग थर्मोडायनामिक रूप से असंगत पॉलिमर की स्व-स्तरीकरण अवधारणा के आधार पर तैयार की गई है, जो अपने घुलनशीलता पैरामीटर मूल्यों में व्यापक रूप से भिन्न होती है, ताकि एक ही कोट में एक बहुपरत कोटिंग का उत्पादन किया जा सके। उपयोग के दौरान कम सतह ऊर्जा वाले

पॉलिमर वायु इंटरफेस को समृद्ध करते हैं जबकि उच्च सतह ऊर्जा वाले पॉलिमर अधिमानतः सबस्ट्रेट की ओर पलायन करते हैं। कम सतह ऊर्जा फाउल रिलीज गुण सुनिश्चित करती है, जबकि नीचे की एपॉक्सी कोटिंग परत संक्षारक-रोधी गुण सुनिश्चित करती है।



फाउल रिलीज कोटिंग का स्व-स्तरीकरण तंत्र

पारंपरिक क्रमिक रूप से लागू बहु-परत कोटिंग्स की तुलना में इस कोटिंग के मुख्य लाभ इंटरडिफ्यूजन के कारण राल की दो परतों के बीच उच्च अंतर-कोट आसंजन और एकल कोट उपयोग के कारण कम VOC उत्सर्जन हैं।



साधारण कोटिंग डुबने के 90 दिन बाद



फाउल रिलीज कोटिंग डुबने के 90 दिन बाद

एंटी-संक्षारक फाउल रिलीज पेंट का क्षेत्र मूल्यांकन

संक्षारक-रोधी फाउल रिलीज कोटिंग का प्रदर्शन मूल्यांकन IGCAR, कलपक्कम, में डायनेमिक फ्लो चैनल टेस्ट सेटअप में किया गया है, जहाँ कोटिंग ने संतोषजनक प्रदर्शन दिखाया। इस पेंट का प्रमाणन भी NMRL द्वारा भारतीय शिपिंग रजिस्ट्री (IRS), मुंबई, के माध्यम से पूरा कर लिया गया है। इस पेंट के फील्ड ट्रायल जल्द ही शुरू होने की उम्मीद है।

जहाजों के आंतरिक भागों के लिए एंटी-माइक्रोबियल कोटिंग

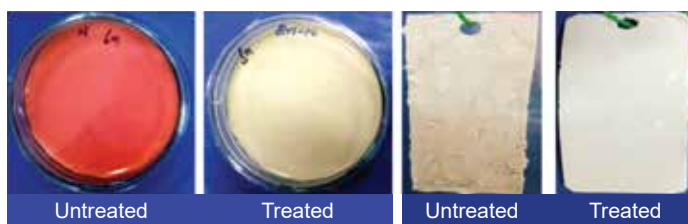
माइक्रोब्स सूक्ष्म जीव होते हैं जो आमतौर पर शिप या पनडुब्बी के नम अंदरूनी हिस्सों में पनपते हैं। उनमें से कई रोगजनक और संक्रामक होते हैं। त्वचा के संपर्क, प्रदूषित हवा में सांस लेने, दूषित भोजन या पानी का सेवन करने आदि के माध्यम से, वे मनुष्यों को बीमारी से संक्रमित करने की क्षमता रखते हैं। इन जीवाणुओं में सही परिस्थितियों में तेजी से बढ़ने और अंततः अपने आस-पास के वातावरण और संरचनाओं को हानि पहुंचाने की क्षमता होती है। एंटी-माइक्रोबियल कोटिंग्स का उपयोग

आंतरिक और नम सतहों को बैक्टीरिया और फंगल हमले से बचाने के लिए किया जाता है। यह स्वच्छ परिस्थितियों और सौंदर्यता को बनाए रखने में मदद करता है।



जहाज के विभिन्न स्थानों में एंटी-माइक्रोबियल कोटिंग की उपयोगिता

प्रयोगशाला ने सिलिकॉन संशोधित एल्केड राल, विशेष भराव और रोगाणुरोधी योजकों पर आधारित एक रोगाणुरोधी पेंट विकसित किया है। पेंट के विकास से पहले, नौसेना के जहाजों के प्रभावित क्षेत्रों से बैक्टीरिया और कवक के नमूने एकत्र किए गए और प्रयोगशाला में उनका परीक्षण किया गया। सूक्ष्मजीव और कवक के विकास को रोकने में उनकी प्रभावशीलता की पुष्टि करने के लिए विभिन्न रोगाणुरोधी एजेंटों का मूल्यांकन किया गया। स्टीयरट आधारित योजक ने उत्कृष्ट जीवाणुरोधी गुण दिखाए और एसेंशियल ऑइल आधारित योजक ने अन्य योजकों की तुलना में उत्कृष्ट एंटी-फंगल गुण दिखाए।



एंटीबैक्टीरियल एजेंट के बिना और साथ में कोटिंग एंटी-फंगल एजेंट के बिना और साथ में कोटिंग

इन दोनों योजकों को सिलिकॉन सोया एल्केड पेंट में मिश्रित किया गया, जिसने बैक्टीरिया और फंगल हमलों के लिए उत्कृष्ट प्रतिरोध दिखाया। ये योजक या तो बैक्टीरिया या कवक की कोशिका भित्ति को तोड़ते हैं और कोशिका भित्ति के भीतर सक्रिय सामग्री को फैलाते हैं या आरएनए की एस-राइबोसोमल इकाई से बंध जाते हैं। जिसके परिणामस्वरूप बैक्टीरिया या कवक को मार दिया जाता है या उनकी वृद्धि को रोक दिया जाता है। रोगाणुरोधी योजकों के साथ और बिना तैयार किए गए पेंट के जीवाणुरोधी और एंटी-फंगल गुणों की रेटिंग नीचे दी गई तालिकाओं में दी गई है। रोगाणुरोधी कोटिंग

विकास के सफल समापन के बाद प्रयोगशाला द्वारा एक भारतीय पेटेंट दायर किया गया है।

रोगाणुरोधी योजकों के बिना और साथ कोटिंग की जीवाणुरोधी योगज

बैक्टीरिया	48 घंटे के बाद अवलोकन	
	योजक के बिना कोटिंग (अनुपचारित)	योजक के साथ कोटिंग (उपचारित)
स्टैफिलोकोकस कोहनी	3	0
बैसिलस सेरेस	4	0
बैसिलस पैरा-माइकोइड्स	4	0
स्टैफिलोकोकस स्क्रियुरी	3	0
सेराटिया मार्क-एसेंस	4	1

रेटिंग: 0, 1, 2, 3, और 4 क्रमशः पूर्ण अवरोध, 10% से कम, 10-30%, 30-60% और प्लैट बैक्टीरिया वृद्धि (>60%), दर्शाते हैं।

रोगाणुरोधी योजकों के साथ और बिना कोटिंग का कवकरोधी गुण

कवक	30 दिन के बाद अवलोकन		
	फिल्टर पेपर (सकारात्मक नियंत्रण)	योजक के बिना कोटिंग (अनुपचारित)	योजक के साथ कोटिंग (उपचारित)
एस्पेरगिलस निवियोग्लोकस	3	2	0
एस्पेरगिलस टेरियस	4		0
चैटोमियम ग्लोबोसम	4	2	0
पेनिसिलियम क्रायसोजिनम	4	3	0
एस्पेरगिलस नाइजर	3	2	0

रेटिंग: 0, 1, 2, 3, और 4 क्रमशः पूर्ण अवरोध, 10% से कम, 10-30%, 30-60% और प्लैट बैक्टीरिया वृद्धि (>60%), दर्शाते हैं।

ऊष्मा-रोधी कोटिंग्स

एयरक्राफ्ट कैरियर पर प्रयोग के लिए एपॉक्सी आधारित ऊष्मा-रोधी कोटिंग्स, जैसे ऐक्रेलिक इमल्शन और सिलिकॉन विकसित की गई हैं, जो उन संरचनाओं पर लगाई जाती हैं जो एयरक्राफ्ट जेट इंजन के निकास के संपर्क में आती हैं। कोटिंग चालन, संवहन, और विकिरण के लिए अवरोध के रूप में कार्य करके ऊष्मा स्थानांतरण को कम करती है। यह ऊष्मा-रोधी कोटिंग प्रकृति में अग्निरोधी भी है और 300°C तक के तापमान को झेल सकती है। कोटिंग को ब्रश, रोलर और स्प्रे द्वारा लगाया जा सकता है। यह सिंगल कोट उपयोग में 200-250 μm की शुष्क फिल्म मोटाई प्रदान करता है। यह एक बैरियर की तरह हीट इंसुलेशन कोटिंग के रूप में कार्य करती है। यह कोटिंग कम तापीय चालकता वाली सामग्रियों, जैसे माइक्रोस्फीयर, पिगमेंट, फिलर्स, एडिटिव्स आदि के साथ तैयार की जाती है। इस कोटिंग का विकास कार्य पूरा हो चुका है। प्रयोगशाला द्वारा विकसित ऊष्मा-रोधी कोटिंग ने आयातित कोटिंग की तुलना में तापमान में पर्याप्त कमी दिखाई है।

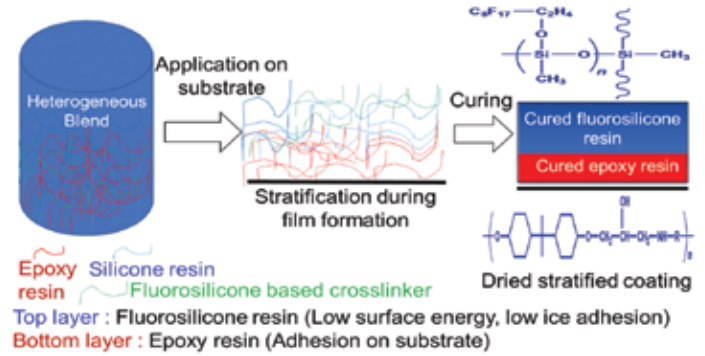


ऊष्मा-रोधी कोटिंग

एंटी-आइसिंग कोटिंग्स

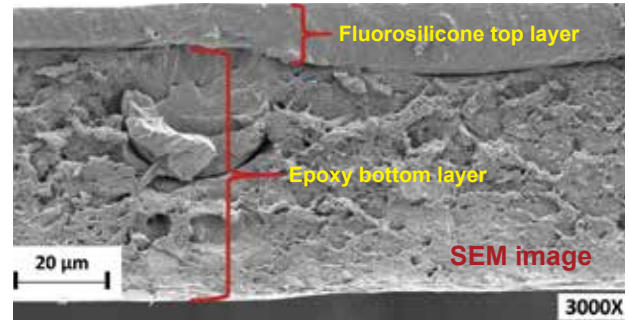
मानव रहित हवाई वाहन (यूएवी) के अग्रणी भागों (पंखों) और क्षैतिज टेल पर बर्फ जमने से अवांछित भार बढ़ने के कारण सहनशीलता कम हो सकती है और उड़ान में अस्थिरता आ सकती है। उड़ान के दौरान ऐसी सतहों से बर्फ हटाना मुश्किल है। उड़ान में बर्फ हटाने के लिए जटिल तंत्रों का उपयोग करने की आवश्यकता होती है जो संरचनात्मक भार को भी बढ़ाता है। प्रयोगशाला ने सिलिकॉन एपॉक्सी राल, रंगद्रव्य, भराव, पतले पदार्थ, फ्लोरीन-आधारित योजक, गीला करने एवं फैल जाने वाले एजेंट तथा संसाधन करने वाले एजेंट युक्त एक स्व-स्तरीकृत पेंट प्रणाली विकसित की है। कोटिंग दो रंगों में तैयार की गई है: ग्रे और नारंगी। इसे 60 ± 5 μm मोटाई के एक कोट में लगाया जाता है। उपयोग के बाद, एपॉक्सी राल नीचे और कम सतह ऊर्जा वाली सिलिकॉन राल शीर्ष

पर जम जाती है। दो-परत पृथक्करण (स्तरीकरण) का तंत्र नीचे दिए गए चित्र में दर्शाया गया है।



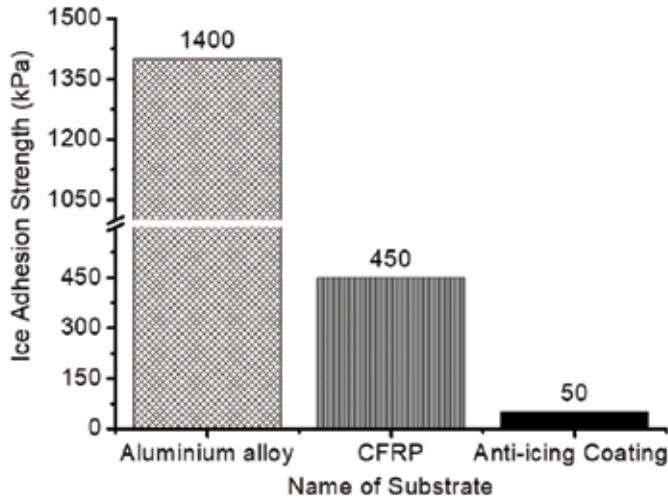
स्तरीकरण का योजनाबद्ध प्रतिनिधित्व

स्कैनिंग इलेक्ट्रॉन माइक्रोस्कोपी (SEM) विश्लेषण से पता चलता है कि निचली परत में एपॉक्सी राल और ऊपरी परत में फ्लोरोसिलिकॉन राल है।



एसईएम द्वारा स्तरीकरण की पुष्टि

एंटी-आइसिंग कोटिंग परिवेश के तापमान पर ठीक होने योग्य, मजबूत, स्प्रे करने योग्य है और 12 महीनों तक एंटी-आइसिंग गुण प्रदान करती है। यह कोटिंग प्रकृति में हाइड्रोफोबिक है (उच्च संपर्क कोण >110) तथा इसमें बहुत निम्न बर्फ आसंजन शक्ति (50-52 kPa) भी है जो बर्फ के जमाव को कम करती है। यह उत्कृष्ट यांत्रिक गुण, थर्मल चक्र प्रतिरोध के साथ-साथ स्वच्छता बनाए रखने में आसानी प्रदर्शित करता है। कोटिंग में एथिलीन ग्लाइकॉल, प्रोपलीन ग्लाइकॉल, इथेनॉल, फॉस्फेट एस्टर हाइड्रोलिक तेल, पायरोलाइज्ड तेल, बैटरी एसिड और खनिज-आधारित हाइड्रोलिक तेल जैसे विभिन्न तरल पदार्थों के लिए प्रतिरोध है। यूएवी TAPAS के तीन एयरफ्रेम पर एंटी-आइसिंग कोटिंग का अनुप्रयोग पूरा हो चुका है।



विभिन्न उप-स्थितियों पर बर्फ आसजन शक्ति



UAV तपस

UAV के अग्रणी किनारों और क्षैतिज पूंछ पर एंटी-आइसिंग कोटिंग्स लगाई जा रही है

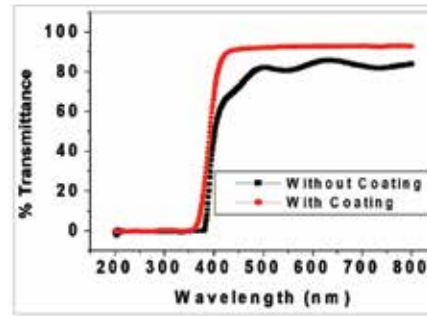
विमान के कैनोपी के लिए पारदर्शी कोटिंग

विमान की विंडस्क्रीन और कैनोपी पारदर्शी सामग्री से बनी होती है। यह पायलट के लिए मौसमरोधी और सुरक्षित वातावरण प्रदान करने के लिए कॉकपिट को कवर करती है। इन्हें उनकी आसान प्रक्रियाशीलता और वांछित वायुगतिकीय आकार प्रदान करने के लिए संचनीयता के कारण विशेष प्रकार के पॉलिमर से बनाया जाता है। स्टेल्थ कैनोपी को स्थिर आवेशों के निर्माण को रोकने और उड़ान के दौरान रडार क्षीणन प्रदान करने के लिए चालक सामग्री की एक पतली परत के साथ लेपित किया जाता है। हालाँकि, इस कोटिंग में सीमित खरोंच प्रतिरोध होता है।



LCA तेजस

प्रयोगशाला ने पारदर्शी सुरक्षात्मक कोटिंग विकसित की है जिसे बिना इसके रडार परावर्तक गुणों या ऑप्टिकल पारदर्शिता से समझौता किए चालक स्टील्थ कोटिंग के ऊपर लगाया जाता है। कोटिंग को सिलोक्सेन-आधारित राल का उपयोग करके विकसित किया गया है। संसाधन और सुखाने के बाद, यह एक कठोर और पारदर्शी परत बनाती है। यह चालक स्टील्थ कोटिंग की रडार अवशोषण विशेषताओं में हस्तक्षेप नहीं करती है। एनएमआरएल द्वारा विकसित पारदर्शी कोटिंग के साथ लेपित कैनोपी सबस्ट्रेट का संप्रेषण 200–800 nm रेंज में यूवी-दृश्य स्पेक्ट्रोफोटोमीटर का उपयोग करके मापा गया है। एनएमआरएल कोटिंग ने अपेक्षित संचरण क्षमता > 90% प्रदर्शित की।



कोटिंग की पारदर्शिता



पारदर्शी कोटिंग के साथ लेपित पर्सपेक्स ऐक्रेलिक शीट

पारदर्शी कोटिंग की विशेषताएँ	
पैरामीटर	अवलोकन
उपस्थिति	साफ रंग हल्का स्ट्रॉ लिक्विड
श्यानता, mPa.s	40-50
विशिष्ट गुरुत्व, g/cc	1.155
आणविक भार, g/mole	< 1000
सैद्धांतिक सिलिकॉन सामग्री, w/w%	70-74
पृष्ठ तनाव, mN/m	24.42

अस्थायी संक्षारण संरक्षण के लिए पीलेबल कोटिंग

पीलेबल कोटिंग का उपयोग संरचनाओं/भागों/फास्टनरों को संक्षारण/खरोंच/पानी के रिसाव आदि से अस्थायी रूप से बचाने के लिए किया जा सकता है। इस कोटिंग फिल्म को आवश्यकतानुसार मैनुअल रूप से पील किया जा सकता है। यह वातावरण के आधार पर

6-10 महीनों के लिए नीचे की सतह को संक्षारण से बचा सकता है। पीलेबल कोटिंग को सीधे धातु और गैर-धातु सब्सट्रेट पर लगाया जा सकता है। इसे एपॉक्सी पॉलीयूरेथेन आदि के साथ लेपित वस्तुओं पर भी लगाया जा सकता है। पीलेबल कोटिंग का उपयोग भंडारण और परिवहन के दौरान खरोँच और संक्षारण से पेंट की गई संरचनाओं/भागों/फास्टनरों को अस्थायी रूप से बचाने के लिए किया जाता है। कोटिंग को आवश्यकता पड़ने पर आसानी से पील किया जा सकता है।

प्रयोगशाला ने स्टाइरीन एथिलीन ब्यूटिलीन स्टाइरीन टेरपोलिमर, एसईबीएस रबर-आधारित पीलेबल कोटिंग विकसित की है जिसका उपयोग संरचनाओं/भागों/फास्टनरों को संक्षारण/खरोँच/पानी के रिसाव से अस्थायी रूप से बचाने के लिए किया जाता है। इसे ब्रश या स्प्रे तकनीक द्वारा, लगभग 45-50 μm की सूखी फिल्म मोटाई पर लगाया जा सकता है। लेपित वस्तुओं को छह महीने तक संक्षारण से बचाया जा सकता है। चूंकि कोटिंग को कम आसंजन के लिए तैयार किया गया है, इसलिए इसे जब भी आवश्यकता हो आसानी से पील किया जा सकता है। एनएमआरएल ने इस कोटिंग के लिए भारतीय पेटेंट दायर किया है।



रबर आधारित पीलेबल कोटिंग

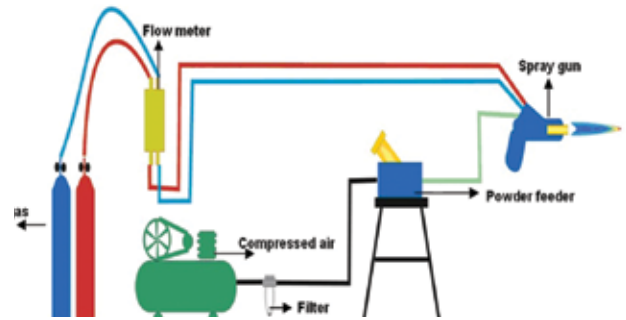
थर्मली स्प्रेबल ऑर्गेनिक कोटिंग

थर्मली स्प्रेबल पॉलिमरिक कोटिंग नई तकनीकों में से एक है, जिसमें उच्च आणविक भार वाले पॉलिमर को पिघलाया जाता है और धातु की सतहों को प्रतिकूल वातावरण से बचाने के लिए कोटिंग के रूप में लगाया जाता है। चूंकि इन पॉलिमर को सामान्य सॉल्वेंट्स में नहीं घोला जा सकता है, इसलिए सतह पर कोटिंग के रूप में पिघलाने और जमा करने के लिए फ्लेम स्प्रेइंग का उपयोग किया जाता है। इन कोटिंग्स में पाउडर कोटिंग्स की तुलना में उच्च रासायनिक प्रतिरोध और बेहतर यांत्रिक गुण होते हैं। इन्हें तात्कालिक फिल्म निर्माण के साथ बड़ी धातु संरचनाओं पर लगाया जा सकता है। कोटिंग में ओवरकोट करने की क्षमता होती

है और इसकी मरम्मत करना आसान होता है। विलायक मुक्त कोटिंग होने के कारण, पारंपरिक पेंट के विपरीत सीमित क्षेत्रों में इसके उपयोग के दौरान आग का कोई खतरा नहीं होता है।

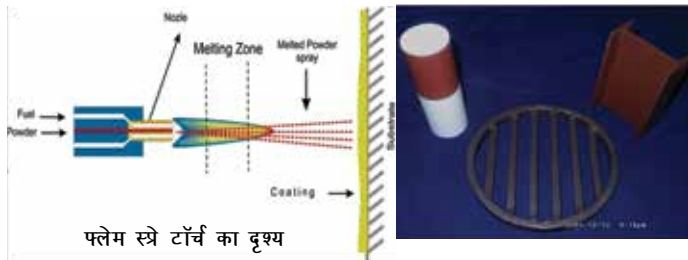
प्रयोगशाला ने कार्बनिक पॉलिमर पाउडर मिश्रणों का उपयोग करके इस तकनीक के विकास में अग्रणी भूमिका निभाई है। व्यावसायिक रूप से उपलब्ध पॉलिमर कणिकाओं को पाउडर के रूप में पीसकर लगभग 250 μm कण के आकार में स्प्रे के लिए बनाया जाता है। फिर पाउडर को विभिन्न पिगमेंट के साथ मिश्रित किया जाता है। थर्मल स्प्रे गन से निकलने वाले गर्म छींटों की प्रवाहशीलता और संलयन को बेहतर बनाने के लिए एडिटिव्स भी शामिल किए जाते हैं।

पिगमेंटेड पॉलिमरिक पाउडर को थर्मल स्प्रे सिस्टम का उपयोग करके साफ और संदूषण मुक्त धातु की सतह पर लगाया जाता है। इसमें एक फ्लेम स्प्रे गन, फीड स्टॉक मेटेरियल कंटेनर और फीडिंग मैकेनिज्म, ईंधन गैस, फ्लो मीटर, और प्रेशर रेगुलेटर के साथ कैरियर गैस और एयर कंप्रेसर शामिल हैं। इस प्रक्रिया में, फीड स्टॉक मेटेरियल को स्प्रे गन की नोक पर लगातार रखा जाता है, जहां इसे ईंधन गैस की लौ में पिघलाया जाता है और कैरियर गैस की एक धारा में सब्सट्रेट तक पहुंचाया जाता है। उपयोग के दौरान, तापमान को नियंत्रित किया जाता है और पॉलिमर के अपघटन तापमान से नीचे बनाए रखा जाता है। उपयोग के कुछ ही मिनटों के भीतर, कोटिंग जम जाती है और सतह पर उपयोग के लिए तैयार हो जाती है।



फ्लेम स्प्रे प्रणाली का दृश्य

थर्मली स्प्रेबल पॉलिमरिक कोटिंग का उपयोग बड़ी संरचनाओं, जटिल आकार की वस्तुओं, रासायनिक हैंडलिंग वाहिकाओं, गैर-ज्वलनशील सतहों आदि पर किया जा सकता है। कोटिंग एप्लीकेशन सेटअप पोर्टेबल है और इसे खुले वातावरण में इस्तेमाल किया जा सकता है। थर्मल स्प्रे कोटिंग की अवधारणा प्रयोगशाला स्तर पर सिद्ध हो चुकी है। नौसेना के उपयोग के लिए इस कोटिंग के अनुप्रयोग का पता लगाया जा रहा है।



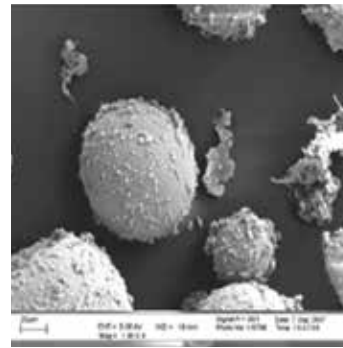
फलेम स्प्रे टॉर्च का दृश्य

फलेम स्प्रे विधि द्वारा जटिल आकार की वस्तुओं पर कोटिंग

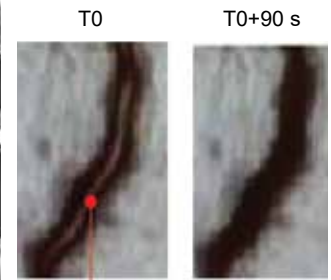
सेल्फ-हीलिंग स्मार्ट कोटिंग्स

पेंट का प्रयोग आमतौर पर सजावट और सुरक्षा के लिए किया जाता है। सर्विस के दौरान, ये कई तरह की घिसाव प्रक्रिया से गुजरते हैं और ऐसी स्थिति में पहुंच जाते हैं जब कोटिंग्स को नवीनीकरण की आवश्यकता होती है। सबसे आम कोटिंग दोषों में से एक सर्विस के दौरान पेंट फिल्म में दरारें बनना है। ये दरारें नमी और अन्य संक्षारण उत्प्रेरण एजेंटों को धातु की सतह तक पहुंचने और संक्षारण प्रक्रिया शुरू करने देती हैं, पेंट फिल्म का विघटन होता है, जिससे अनावृत धातु पर्यावरण के संपर्क में आती है। यदि माइक्रोकैप्सूल उत्पन्न होते ही यह ठीक हो जाएं, तो कोटिंग को और अधिक नुकसान से बचाया जा सकता है और पेंट फिल्म की सेवा जीवन को बढ़ाया जा सकता है जो बदले में संरचनाओं के जीवन को बढ़ाता है। पेंट में हीलिंग एजेंट से भरे माइक्रोकैप्सूल को शामिल करके इसे हासिल किया गया है। जब दरार उत्पन्न होती है, तो माइक्रोकैप्सूल के टूटने के कारण हीलिंग एजेंट निकलता है और दरार को भर कर देता है। यह अंतर्निहित स्मार्ट गुण कोटिंग्स के सेवा जीवन को बढ़ाता है।

प्रयोगशाला ने सिलिकॉन संशोधित एल्केड-रेजिन आधारित टॉप कोट और एपॉक्सी-रेजिन आधारित प्राइमर वाली एक पेंट प्रणाली विकसित की है। हवा में सुखाने वाले सिलिकॉन संशोधित एल्केड-राल आधारित पेंट में माइक्रोकैप्सूल होते हैं, जिनमें हीलिंग एजेंट होता है। जब टॉप कोट में क्षति होती है, तो कैप्सूल फट जाते हैं और कोर मटेरियल (हीलिंग एजेंट) निकल जाता है। यह ऑक्सीडेटिव पॉलीमराइजेशन से गुजरता है और दरार की मरम्मत करता है। क्षार संवेदनशील माइक्रोकैप्सूल में समाहित संक्षारण अवरोधकों को प्राइमर में शामिल किया गया है। संक्षारण अवरोधक क्षारीय पीएच स्थितियों के तहत मुक्त होते हैं जो धातु कोटिंग इंटरफेस पर संक्षारण प्रतिक्रिया की शुरुआत के दौरान उत्पन्न होती है। सेल्फ-हीलिंग स्मार्ट कोटिंग्स को सफलतापूर्वक विकसित किया गया है और इसकी कार्यप्रणाली को प्रयोगशाला में प्रदर्शित किया गया है।



माइक्रोकैप्सूल की शैल आकृति विज्ञान



दरार (सफेद)

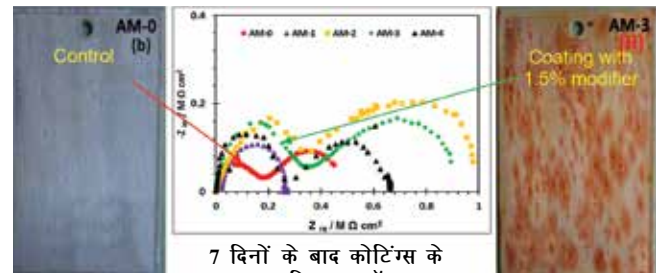
भरी गई दरार

दरार का उपचार

संक्षारण संवेदन कोटिंग्स

धातु संरचनाओं के संक्षारण संरक्षण के लिए पेंट अनुप्रयोग सबसे किफायती तरीका है। प्रत्याशित सेवा जीवन से पहले पेंट/कोटिंग की विफलता, भयावह दुर्घटनाओं का कारण बन सकती है जिससे आर्थिक और जनशक्ति की हानि हो सकती है। प्रकृति में निष्क्रिय होने के कारण, पारंपरिक पेंट संक्षारण संवेदन गुण प्रदर्शित नहीं करते हैं जो पेंट कोटिंग के क्षरण और धातु-कोटिंग इंटरफेस पर संक्षारण की शुरुआत का संकेत दे सकें।

प्रयोगशाला ने कोटिंग फिल्म के नीचे संक्षारण का जल्दी पता लगाने के लिए दो प्रकार की स्मार्ट संक्षारण संवेदन कोटिंग्स विकसित की हैं। विकसित पेंट संक्षारण के लिए संवेदक के रूप में कार्य करते हैं और संक्षारण के शुरुआती चरणों में कैथोडिक और एनोडिक प्रतिक्रियाओं का पता लगाते हैं। कोटिंग्स रंग परिवर्तन या प्रतिदीप्ति परिवर्तन के माध्यम से संक्षारण की शुरुआत का पता लगाती हैं। रंग बदलने वाली कोटिंग में फेनेथ्रोलाइन-संशोधित एपॉक्सी रेजिन का उपयोग किया जाता है जो धातु-कोटिंग इंटरफेस पर संक्षारण होने पर रंग के धब्बे दिखाता है।



संक्षारण के बिना कोटिंग

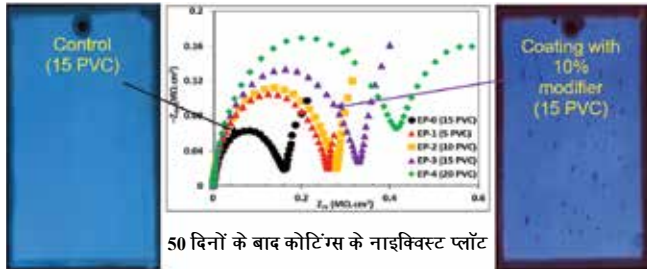
7 दिनों के बाद कोटिंग्स के नाइक्विस्ट प्लॉट

संक्षारण की शुरुआत के कारण लाल रंग के धब्बे

रंग बदलने वाली संक्षारण संवेदी कोटिंग

इसी तरह, फ्लोरोसेंट-संशोधित कोटिंग उन जगहों पर फ्लोरोसेंट स्पॉट दिखाती है जहां पेंट फिल्म के नीचे जंग लगती है। कोटिंग संक्षारण की शुरुआती चेतावनी

के रूप में कार्य करती है और संक्षारण की शुरुआत से निपटने के लिए उचित उपाय करने के लिए अत्यधिक उपयोगी है।



संक्षारण के बिना UV प्रकाश के तहत कोटिंग

50 दिनों के बाद कोटिंग्स के नाइक्विस्ट प्लॉट

संक्षारण की शुरुआत के कारण कोटिंग में फ्लोरोसेंट स्पॉट (UV प्रकाश के तहत)

शुरु में, लेपित नमूनों के लिए निक्विस्ट प्लॉट संकेत देते हैं कि वे संक्षारण से सुरक्षा के लिए आवश्यक $>1 \text{ M}\Omega \text{ cm}^2$ का अपेक्षित ध्रुवीकरण प्रतिरोध प्रदर्शित कर रहे हैं। संक्षारक समुद्री जल में डूबने के बाद कोटिंग्स ने संक्षारण की शुरुआत के कारण रंग या प्रतिदीप्ति स्पॉट सफलतापूर्वक दिखाए। संक्षारण की शुरुआत के बाद एक बार फिर ध्रुवीकरण प्रतिरोध मापा गया जो $<1 \text{ M}\Omega \text{ cm}^2$ पाया गया जो लेपित नमूनों पर देखे गए रंग या प्रतिदीप्ति स्पॉट से पुष्टि करता है।

क्षार रोधी कोटिंग्स

एनएमआरएल ने धातु, कांच, सिरामिक, और पॉलिमरिक सबस्ट्रेट के लिए एक क्षार प्रतिरोधी कोटिंग विकसित की है। यह कोटिंग संरचना सिंथेटिक रबर कॉपोलीमर और एपॉक्सी राल के मिश्रण पर आधारित है, और एक उपयुक्त हार्डनर के साथ संसाधित की गई



NaBH₄ भण्डार टैंक स्पष्ट क्षार प्रतिरोधी कोटिंग अस्तर के साथ

है। यह $100 \pm 5 \mu\text{m}$ की सूखी फिल्म मोटाई के साथ सतहों पर एक स्पष्ट कोटिंग का उत्पादन करती है। इस कोटिंग को अत्यधिक क्षारीय पदार्थों के भंडारण के लिए उपयोग किए जाने वाले कंटेनरों पर लगाया जा सकता है। इस कोटिंग को सोडियम बोरोहाइड्राइड स्टोरेज टैंक (एआईपी सिस्टम में उपयोग किया जा रहा है) लाइनिंग एप्लीकेशन के लिए विकसित किया गया है। इस कोटिंग के प्रयोगशाला स्तर के परीक्षण पूरे हो चुके हैं और प्रदर्शन संतोषजनक पाया गया है। एनएमआरएल ने इस कोटिंग के लिए भारतीय पेटेंट दायर किया है।

संक्षारण संरक्षण कोटिंग्स के लिए परीक्षण सुविधाएँ

प्रयोगशाला में संरचनाओं के संक्षारण संरक्षण के लिए पेंट के अनुसंधान, विकास और परीक्षण के लिए एक पूर्ण सुविधा है। यह पेंट निर्माण के लिए रेजिन की तैयारी के लिए उपकरणों से अच्छी तरह सुसज्जित है। पेंट तैयार करने की सुविधाओं में बॉल मिल, एट्रिटर मिल, अल्ट्रासोनिकेटर, थ्री रोल मिल और हाई-स्पीड डिस्पर्सर शामिल हैं। सुखाने के गुणों के लिए हार्ड ड्राईंग उपकरण, पेंट विस्कोसिटी कप, ब्रुक फील्ड विस्कोमीटर और विस्कोसिटी के लिए रोटो-विस्कोमीटर, पेंट एप्लीकेशन के लिए एयर और एयरलेस स्प्रे सिस्टम का उपयोग पेंट गुणों को निर्धारित करने के लिए किया जाता है।

सूखी फिल्म विशेषताओं को मापने के लिए, शुष्क फिल्म मोटाई गेज, चमक गुणों के लिए ग्लॉस मीटर, लचीलापन के लिए शंक्वाकार, और बेलनाकार मोड़ परीक्षक, तन्य शक्ति, बढ़ाव और आसंजन गुणों के लिए यूनिवर्सल टेसाइल मशीन, घर्षण प्रतिरोध के लिए टैबर घर्षण परीक्षक, गैर-स्कड कोटिंग्स के घर्षण गुणों के लिए घर्षण गुणांक परीक्षक, कोटिंग कठोरता के लिए खरांच प्रतिरोध परीक्षक, क्षेत्र माप के लिए पोर्टेबल आसंजन परीक्षक का उपयोग कोटिंग विशेषता के लिए किया जाता है। विभिन्न पर्यावरणीय कक्ष जैसे, पेंट संक्षारण ओवन, समुद्री जल विसर्जन टैंक, इम्प्रेस्ड करंट कैथोडिक संरक्षण सेटअप, नमक स्प्रे कक्ष, यूवी वेदरोमीटर का उपयोग संक्षारण प्रतिरोध गुणों का आकलन करने के लिए किया जाता है। पेंट की गई सतहों पर बर्फ के आसंजन गुणों का अध्ययन करने के लिए एक विशेष सुविधा, बर्फ आसंजन परीक्षक की स्थापना की गई है।

उपर्युक्त के अलावा, पेंट और कच्चे माल की जांच के लिए प्रयोगशाला में कण आकार विश्लेषक, स्कैनिंग इलेक्ट्रॉन माइक्रोस्कोप, एक्स-रे विवर्तन, एटॉमिक फोर्स माइक्रोस्कोप, DSC, DMA, TGA जैसी आधुनिक लक्षण वर्णन तकनीकें भी उपलब्ध हैं।

“किसी एक मत को स्वीकार कर लेना विज्ञान द्वारा आत्महत्या करने के सामान है।”